

HUGO LEONARDO METZ

CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO PARA DEMONSTRAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE EM ESCOLAS SITUADAS EM MEIOS URBANOS.

Lavras - MG

2013

HUGO LEONARDO METZ

CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO PARA DEMONSTRAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE EM ESCOLAS SITUADAS EM MEIOS URBANOS.

.

Monografia Apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Dr. Vítor Hugo Teixeira

LAVRAS - MG

2013

HUGO LEONARDO METZ

CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO PARA DEMONSTRAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE EM ESCOLAS SITUADAS EM MEIOS URBANOS.

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _________ de 2013

Dr.
Dr.

Dr. Vítor Hugo Teixeira
Orientador

LAVRAS – MG
2013

AGRADECIMENTOS

Ao Deus criador, pelo dom da vida e por ter-me provido de capacidade e recursos para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG) pelo oferecimento do curso e disponibilização de material e equipe de apoio.

Ao grupo de professores do curso Formas Alternativas de Energia (FAE), pela sua dedicação e atenção.

Ao professor Vítor Hugo Teixeira pela orientação durante a realização deste trabalho.

Ao meu querido pai, Bruno Metz, pela sua dedicação, paciência e ajuda durante os meses em que este trabalho se transcorreu, pois, devido à labuta diária, sem essa ajuda eu não teria tido tempo hábil de construir o aparato experimental.

À minha querida mãe, Carmen Metz, e minha amada esposa, Thais Metz, pelos incansáveis incentivos e pelo apoio oferecido durante todo o decorrer do projeto.

“*Aniquilará a morte para sempre, e assim enxugará o Senhor DEUS as lágrimas de todos os rostos, e tirará o opróbrio do seu povo de toda a Terra; porque o SENHOR o disse. E naquele dia se dirá: Eis que este é o nosso Deus, a quem aguardávamos, e ele nos salvará; este é o SENHOR, a quem aguardávamos; na sua salvação gozaremos e nos alegraremos*.”

(Isaías 25:8 e 9)

RESUMO

Nas últimas décadas a humanidade tem se preocupado cada vez mais com as questões ambientais, e de modo particular com a problemática dos combustíveis fósseis, que além de serem fontes de energia não renováveis, são também altamente poluidoras.

O biodigestor tem sido visto como uma alternativa muito interessante para as questões ambientais, pois utiliza resíduos que seriam dispensados como lixo para a geração de energia renovável e cujo índice de poluição é baixo quando comparado aos combustíveis fósseis.

É importante que se desenvolva desde as séries iniciais em escolas e colégios a consciência do uso racional de energia, e que se fomente as possibilidades de formas alternativas de produção de energia renovável. O uso do biodigestor como um projeto interdisciplinar e multidisciplinar em uma escola ou colégio situado em meio urbano pode contribuir para a formação de uma visão crítica sobre o assunto.

O projeto em questão mostra a facilidade de construção e operação de um biodigestor caseiro em que é possível acompanhar diariamente a produção de biogás, entender a relação entre variáveis climáticas, como a temperatura, com a quantidade de biogás produzido e no final do processo observar a formação de biofertilizantes. Neste trabalho não foi possível observar a queima de biogás, pois o metano produzido ficou bem diluído no ar que estava inicialmente na câmara, ainda que a produção de biogás tenha se mantido ao longo de 90 dias.

Palavras-chave: Biodigestor didático. Biogás. Biofertilizante.

ABSTRACT

In recent decades humanity has been increasingly concerned with environmental issues, and in particular with the problem of fossil fuels, which in addition to being non-renewable energy sources are also highly polluting.

The biodigester has been seen as a very interesting alternative for environmental issues because it uses waste that would be treated as garbage to renewable energy generation and whose pollution index is low compared to fossil fuels.

It is important to develop from the early grades in schools and colleges awareness of rational use of energy, and that fosters the possibilities of alternative forms of renewable energy production. The use of the digester as a multidisciplinary and interdisciplinary project at a school or college located in urban areas can contribute to the formation of a critical view on the subject.

The project in question shows how easy is the construction and operation of a homemade biodigester where you can track daily biogas production, understand the relationship between climate variables such as temperature, with the amount of biogas produced at the end of the process and observe the formation of biofertilizers. In this work it was not possible to burn biogas for the methane produced was diluted air which was initially in the chamber, even with the production of biogas during the 90 days of the project.

Keywords: Homemade biodigester. Biogas. Biofertilizers.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

Temos observado, de maneira cada vez mais intensa, a constante elevação da temperatura média de nosso planeta. Este aumento de temperatura está relacionado à ação humana, especialmente após a revolução industrial, no século 18. Desde então houve um salto tecnológico e um crescimento sem precedentes das civilizações, e consequentemente houve um aumento da poluição e consumo dos recursos naturais.

O carvão e o petróleo foram muito utilizados pela indústria. Sua queima forneceu o calor de que as indústrias necessitavam para funcionar, impulsionando economias gigantescas, como a dos Estados Unidos, da Europa e da China. Porém a queima do carvão e do petróleo também liberam quantidades muito grandes de dióxido de carbono (CO_2), que passa a fazer parte da atmosfera terrestre. O dióxido de carbono forma uma camada ao redor da Terra, que absorve parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, fazendo com que o calor fique retido.

O efeito estufa é importante para a vida no planeta Terra, pois mantém o planeta aquecido, o que permite a vida da forma como conhecemos. Porém, o homem, ao queimar cada vez mais combustíveis fósseis, passou a emitir quantidades muito grandes de CO_2. Além disso, o homem também passou a explorar de forma descontrolada os recursos florestais, responsáveis pela absorção do CO_2 da atmosfera.

Atualmente têm-se discutido bastante a questão energética. Sabe-se que os combustíveis fósseis, além de altamente poluentes, também são considerados recursos não-renováveis, e as reservas naturais não devem durar muito tempo. Assim soluções energéticas limpas e renováveis têm sido alvo de muita pesquisa em vários países, e várias destas soluções estão gradualmente sendo implementadas. Uma destas soluções é o biodigestor anaeróbio.

O biodigestor apresenta vantagens interessantes para a questão ambiental. No Brasil os biodigestores estão presentes, em sua maioria, no meio rural, onde apresentam como vantagens a degradação da matéria orgânica dos currais, redução dos odores, diminuição de moscas no local, redução de coliformes superior a 99%, bem como a possibilidade de aproveitamento do biogás produzido como combustível e uso do lodo como fertilizante.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o biodigestor a alunos de escolas de regiões urbanas através da elaboração, construção e manuseio de um biodigestor caseiro. No Brasil a maioria dos biodigestores está situada do meio rural, mas o potencial de utilização em cidades grandes é alto. Procurou-se construir um protótipo de baixo custo, de dimensões reduzidas, mas funcional, que utilizasse rejeitos de cozinhas e restaurantes, de fácil confecção e que pudesse ser construído e manuseado por alunos em idade escolar a partir do 6º ano.

Neste trabalho procuramos apresentar o conceito de biodigestão, os tipos mais comuns de biodigestores, a aplicação dos biodigestores no mundo e no Brasil e a utilização de biodigestores para dejetos de cozinha, que é uma proposta interessante para regiões urbanas.

Este trabalho mostra os materiais necessários para a confecção de um biodigestor caseiro, os passos para a construção e a matéria-prima utilizada. O biodigestor caseiro é funcional, ou seja, é possível observar a produção de biogás a partir da matéria-prima utilizada, e no final do processo há a possibilidade de se observar os lodos resultantes do processo de biodigestão. Outro fator interessante de se observar é a influência direta do clima na produção de biogás, fator este de grande importância quando se pensa em biodigestores de maior capacidade, como, por exemplo, aqueles que alimentam uma casa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O que é Biogás

Biogás (TEIXEIRA, 2005) é o produto da decomposição natural de qualquer substância orgânica, como dejetos de animais, resíduos vegetais e também de lixo residencial e industrial.

O biogás é constituído de vários gases, mas os principais componentes são o metano (CH_4), que corresponde a cerca de 65%, e o dióxido de carbono (CO_2), que corresponde a cerca de 35% da mistura. Encontramos também nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S), cada um destes correspondendo a no máximo 1% da mistura.

O gás sulfídrico é o gás que dá o odor pútrido característico da mistura, e é também o responsável pela corrosão verificada nos componentes do sistema de biogás.

Os substratos mais comuns para a produção de biogás são:

- dejetos e rejeitos de suinocultura, pecuária e avicultura;
- resíduos agrícolas, como cascas, folhagens, palhas e restos de cultura;
- resíduos industriais, como bagaços, descartes, restos de restaurantes
- vinhaça

O processo de produção de biogás acorre devido às bactérias metanogêneas, sem a presença de ar. Portanto o processo é chamado de anaeróbio.

2.2. Biogás e Equivalente Energético

O poder calorífico do biogás (TEIXEIRA, COLDBELLA, POMPERMAYER) depende da concentração de metano existente. Normalmente

está situado na faixa entre 5.000 e 6.000 kcal/m^3. A Tabela 1 compara a equivalência energética entre 1 m^3 de biogás e outras fontes de energia.

Tabela 1 – Equivalência Energética entre 1 m^3 de biogás e outras fontes de energia

Fonte Energética	Quantidade
Gás de cozinha	0,40 kg
Gasolina	0,61 a 0,70 litros
Óleo diesel	0,55 litro
Etanol	0,80 litro
Carvão Vegetal	0,74 kg
Querosene	0,58 litro
Energia Elétrica	1,25 s 1,43 kWh
Lenha	1,60 a 3,50 kg

2.3. Processo de Biodigestão

A digestão (TEIXEIRA, SOARES J., BIODIGESTION OF KITCHEN WASTE) é um processo biológico causado por ação bacteriana. As bactérias anaeróbias, responsáveis pelo processo de digestão, não sobrevivem em ambientes com oxigênio. Desta maneira, devido à presença de oxigênio na mistura da matéria prima, decorre um tempo até que as bactérias aeróbias consumam o oxigênio presente, para então o processo de digestão se iniciar.

A produção de biogás pelas bactérias metanogênicas é função da temperatura operacional do biodigestor. Temperaturas mais elevadas resultam em processos mais eficientes. A queda da temperatura leva ao retardamento do processo de digestão. Para 15º C a produção de biogás é pequena e em torno de 10ºC a produção cai para patamares bem reduzidos. A variação brusca de

temperatura também exerce grande influência no processo. Variações de 3ºC já são sentidas, e por isso não são recomendadas.

As bactérias metanogênicas podem ser divididas em dois grupos, conforme a temperatura do substrato. As bactérias mesofílicas se desenvolvem em temperaturas na faixa de 20ºC a 45ºC. A temperatura ideal para este grupo gira em torno de 36,5ºC.

As bactérias termofílicas se desenvolvem em temperaturas superiores a 45ºC. Elas possuem maior velocidade de digestão, o que reduz o tempo de retenção de sólidos no digestor. A temperatura ideal para este grupo gira em torno de 56ºC.

Embora o tempo de retenção seja diferente para os dois grupos, o grau de decomposição da matéria é o mesmo. Nota-se também que o grupo das bactérias mesofílicas tem uma maior capacidade de tamponamento e é mais robusto a alterações ou acúmulo de substâncias inibidoras

O processo de digestão pode ser definido em três fases distintas:

- A primeira fase ou fase de liquefação é quando ocorre a transformação de compostos complexos em substâncias mais simples. Esta etapa é realizada por bactérias que possuem capacidade enzimática de decomposição de carboidratos, gorduras e proteínas. A reação predominante nesta fase é a conversão de polissacarídeos insolúveis em matéria orgânica solúvel.
- A segunda fase é conhecida como acidogênese/acetogênese, ou ainda fase ácida. Nesta fase os aminoácidos, monossacarídeos, ácidos graxos e gliceróis, obtidos na primeira fase, tornam-se substratos para as bactérias saprófitas, que são facultativas. Estas bactérias são responsáveis pela formação de ácidos orgânicos simples, de baixo peso molecular, como o ácido fórmico, acético, propiônico e butírico, ou

mesmo acetatos e hidrogênio, liberando produtos de degradação intermediária, como o CO_2 e H_2O.

- A terceira fase é gaseificação. Nesta fase as bactérias metanogênicas metabolizam os ácidos voláteis produzidos na fase anterior. Nesta fase ocorre a produção do gás metano e do dióxido de carbono. Entre os produtos finais também são encontrados, entre outros, o gás sulfídrico (H_2S), água (H_2O) e a amônia (NH_3).

2.4. Fatores que Influenciam na Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é o processo em que bactérias decompõem a matéria orgânica em um meio com ausência de oxigênio. Assim é importante que se observe os fatores que influenciam na maior ou menor produção de biogás. Dentre estes fatores podemos citar:

2.4.1. Temperatura: O desenvolvimento das bactérias metanogênicas e a produção de biogás é função da temperatura do biodigestor. As bactérias responsáveis pela biodigestão são bastante sensíveis a variações bruscas de temperatura. Uma variação de 3ºC já é o suficiente para causar a morte da maioria das bactérias. Por isso a temperatura nos biodigestores deve ser controlada.

2.4.2. Tipo de resíduos: O tipo de resíduo é o alimento a ser utilizado pelas bactérias. Uma vez que a relação carbono/nitrogênio é um fator muito importante, o material vegetal é uma das melhores matérias-primas, pois é fonte rica em carbono devido ao seu alto teor de carboidratos.

2.4.3. Relação carbono/nitrogênio: Este fator é de grande importância para a formação dos ácidos orgânicos utilizados pelas bactérias para a produção de biogás. Além disso, o carbono é utilizado pelas bactérias como energia e o nitrogênio é usado para a construção das estruturas celulares. A

relação ideal está na faixa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio.

2.4.4. Tempo de retenção: É o tempo em que o material orgânico permanece no interior do biodigestor. O tempo de retenção está relacionado a fatores como a granulometria, temperatura, entre outros. Em geral recomenda-se tempos de retenção de 4 a 60 dias.

2.4.5. pH: O ph adequado situa-se na faixa entre 6 e 8, tendo 7 como o ideal. Ambientes muito ácidos causam a morte das bactérias metanogênicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de construção deste biodigestor foi desenvolvido pensando em sua aplicação como conteúdo escolar de caráter multidisciplinar, para que o tema da geração de energia limpa e renovável pudesse ter tratado de forma ampla em uma escola ou colégio situado em região urbana. Desta forma procurou-se utilizar materiais de sucata ou que fossem facilmente encontrados em qualquer comunidade. Os custos são relativamente baixos e a montagem é simples. Desta forma qualquer escola ou colégio tem condições para construir e operar este biodigestor.

3.1. Materiais Utilizados

O recipiente utilizado para servir de biodigestor é uma bombona de plástico de 250 litros usada, onde foram acopladas saídas para recolher o gás produzido e também para drenagem dos fluidos. A Tabela 2 apresenta os componentes utilizados, suas medidas e também a quantidade.

Tabela 2 Componentes utilizados na construção do biodigestor

Componente	Medida	Quantidade
Bombona Plástica	250 litros	1
Flange PVC	Ø 20 mm	2
Flange PVC	Ø 25 mm	2
Válvula esfera PVC soldável	Ø 20 mm	2
Válvula esfera PVC roscada	Ø 20 mm	1
Válvula esfera PVC soldável	Ø 25 mm	1
Cotovelo 90º PVC	Ø 20 mm	1
Cotovelo 90º PVC	Ø 25 mm	1

Adaptador PVC soldável	solda Ø 20 mm	1
Adaptador PVC soldável	solda Ø 25 mm	4
Adaptador PVC fêmea	roscado Ø 20 mm	1
Tê 90º PVC soldável marrom	Ø 20 mm	1
Tê 90º PVC soldável marrom	Ø 25 mm	2
Cruzeta galvanizada	Ø ¾ ”	1
União soldável PVC	Ø 20 mm	1
Niple duplo PVC com rosca	Ø 25 mm	1
Tubo PVC	Ø 20 mm	1
Tubo PVC	Ø 25 mm	1
Mangueira transparente	Ø 1/8”	4 metros
Espigão	Ø 1/8”	2
Cap PVC	Ø 25 mm	2
Chapa de aço galvanizado	50 x 80 mm	4
Cola para tubos PVC	-----------	1
Cola de silicone	------------	1

O APÊNDICE A mostra um quadro com a foto das peças utilizadas com suas respectivas descrições.

3.1.1. Montagem do Misturador

O primeiro passo foi a lavagem da bombona, pois ela era utilizada para conservas. Depois de limpa o próximo passo foi fazer um furo central na tampa, para passar o misturador (todo o misturador foi feito utilizando-se tubos e conexões de 25 mm de diâmetro, para maior robustez).

A parte interna do misturador utilizou:

- para o eixo central, um pedaço de tubo de PVC de 520 mm (parte inferior) e um pedaço de tubo de PVC de 620 mm (parte superior);
- para os agitadores: quatro pedaços de tubo de PVC de 200 mm (para os braços agitadores), um tê de PVC (parte inferior), uma cruzeta de ferro galvanizado (para conexão entre a parte superior e a parte inferior), quatro palhetas de chapa galvanizada; cinco adaptadores soldável/rosca.
- para o giro: um flange.

A parte externa do misturador utilizou, para a manivela de rotação:

- dois pedaços de tubo de PVC de 200 mm;
- um pedaço de tubo de PVC de 80 mm;
- um cotovelo de 90º;
- dois caps de PVC.

Para a montagem da parte interna o tubo de PVC de 520 mm recebeu um adaptador em cada extremidade. O tubo de 620 mm e dois dos tubos de 200 mm receberam um adaptador em uma das extremidades. Os quatro tubos de 200 mm receberam, na outra extremidade, fendas para o encaixe e fixação das chapas galvanizadas.

O tubo de 520 mm foi rosqueado na conexão central do tê, e os dois tubos de 200 mm sem adaptador foram colados nas extremidades do tê.

A outra extremidade do tubo de 520 mm foi rosqueada na cruzeta. O tubo de 620 mm foi rosqueada na cruzeta no lado oposto do tubo de 520 mm, formando assim o eixo de rotação. Os outros dois tubos de 200 mm foram rosqueados nas laterais da cruzeta, tomando-se o cuidado de mantê-los alinhados com os braços agitadores inferiores.

O flange foi montada no tubo de 620 mm. Este flange é a parte responsável pela liberdade de rotação dada ao misturador. A figura 1 mostra o

eixo central semi-pronto, com os braços agitadores já montados e com o eixo central em posição. Note a flange no tubo de 620 mm (parte superior do eixo).



Figura 1 Braços agitadores montados. Eixo central alinhado em sua posição final.

A figura 2 mostra a parte interna do agitador montada.



Figura 2 Parte interna do misturador montada. Note a angulação das palhetas de aço galvanizado.

A figura 3 mostra a flange no tubo de 620 mm em detalhes.



Figura 3 Detalhe do flange no tubo superior do misturador.

A figura 4 mostra a montagem do flange de rotação na tampa da bombona. O furo central na foi feito com 25 mm de diâmetro.

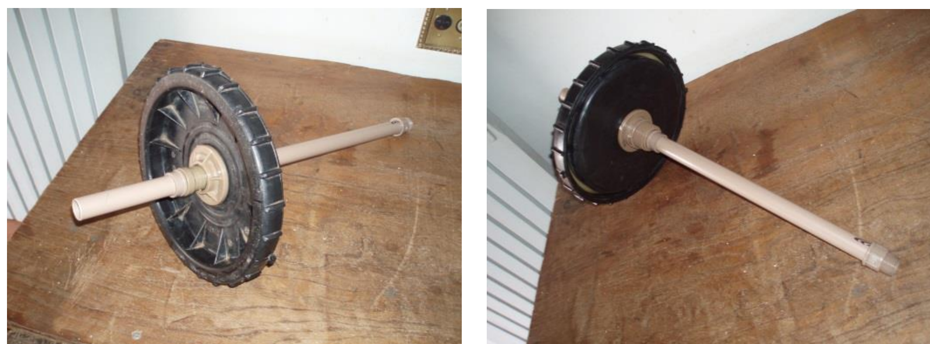


Figura 4 Vista da parte superior (foto da esquerda) e inferior (foto da direita) da tampa da bombona, com o flange de rotação já instalada.

Note que, devido ao diâmetro de apenas 240 mm da boca da bombona, esta estrutura foi montada apenas depois que o biodigestor estava carregado e pronto para ser fechado.

A montagem da manivela é simples e foi feita utilizando-se apenas componentes soldáveis de PVC. Os componentes foram colados com cola para PVC. A figura 5 mostra a manivela montada.



Figura 5 Manivela para rotação do misturador montada na ponta do eixo central.

3.1.2. Montagem dos Drenos

Para este biodigestor foram projetados dois drenos: o superior, situado a 450 mm do fundo do biodigestor, e o inferior, situado a 125 mm do fundo do biodigestor.

O dreno superior foi feito utilizando-se um flange e uma válvula esfera, ambos de 20 mm de diâmetro, e o dreno inferior foi feito utilizando-se um flange e uma válvula esfera, ambos de 25 mm de diâmetro.

Para conectar a válvula de 20 mm ao flange superior foi utilizado um niple de 20 mm, feito a partir do tubo de PVC, e colado com cola para PVC. Para conectar a válvula de 25 mm ao flange inferior foi utilizado o niple duplo de PVC.

A figura 6 mostra, na foto da esquerda, os flanges superior e inferior montados, ainda sem as válvulas, e na foto da esquerda as válvulas superior e inferior já instaladas.



Figura 6 Flanges superior e inferior (foto da esquerda) e válvulas (foto da direita)

3.1.3. Montagem da Saída de Gás

Para a montagem as saída de gás foram utilizados um flange, uma união soldável, um tê soldável, uma válvula esfera soldável, uma válvula esfera roscada, um adaptador roscado, um redutor roscado (todos de 20 mm de diâmetro) e dois espigões com rosca ¾" e saída 1/8".

O flange foi fixado na borda superior da bombona, ao lado da tampa. Todas as conexões foram feitas utilizando-se niples de tubo de PVC de 20 mm de diâmetro e coladas com cola para PVC. A figura 6 mostra, em primeiro

plano, a saída de gás montada. Note a mangueia transparente, utilizada como manômetro, instalada na válvula esférica vertical. A válvula esférica horizontal foi reservada para ser conectada a um queimador de gás.

3.1.4. Montagem do Manômetro

Para a medida da produção de biogás foi utilizado um manômetro simples, feito com uma mangueira transparente de 4 m de comprimento, fixa em formato de U num suporte de madeira. Colocou-se água na mangueira. Uma das extremidades foi conectada à saída controlada pela válvula esfera vertical da saída de gás (figura 6) e a outra extremidade foi fixada no suporte. O princípio aplicado para este manômetro simples é o de vasos comunicantes. Desta forma foi possível medir a pressão interna do biogás.

A figura 7 mostra o biodigestor completo, com todas as partes montadas. Note o suporte para o manômetro na parte esquerda da foto.



Figura 7 Biodigestor completo, montado sobre uma base com rodízios, para facilitar a movimentação.

3.2. Carga do Biodigestor

A matéria-prima para a realização deste trabalho foi resíduos de cozinha, tomando-se o cuidado de não adicionar alimentos cárneos, nem gorduras animais e nem sangue. Os resíduos foram coletados na cozinha de um colégio de regime de internato, que adota a alimentação ovolactovegetariana, servindo três refeições por dia aos alunos residentes, funcionários e visitantes.

A escolha desta matéria-prima está relacionada ao fato de o colégio situar-se em uma região urbana. Os biodigestores utilizados no meio rural primam pela digestão de dejetos animais, o que claramente não é o caso em meios urbanos. Nestes um dos grandes problemas sanitários enfrentados é o descarte de resíduos de cozinha tanto domiciliar quanto industrial (restaurantes, lanchonetes, fábricas, etc.). No entanto, para que a digestão se dê de forma satisfatória, recomenda-se a adição de esterco bovino ou suíno. A carga do biodigestor foi feita segundo os dados mostrados na Tabela 3:

Tabela 3 Tipo de resíduos e quantidades utilizadas no biodigestor

Resíduo	**Quantidade**
Sobras de alimentos	42 kg
Esterco bovino fresco	8 kg
Água	130 litros

Os 42 kg de sobras de alimentos foram misturados, de 8 em 8 kg, a 5,5 litros de água para serem triturados. Depois de triturados, essa massa foi misturada com esterco fresco bovino e novamente triturada a fim de se obter uma massa homogênea, de granulação pequena. A mistura foi então adicionada ao biodigestor, que foi tampado e selado com cola de silicone em toda a extensão da borracha de vedação da tampa, para garantir que não houvesse vazamentos de gás mesmo com a pressão interna alta. Durante os 90 dias da

experiência não foi acrescentado e nem retirado material sólido ou líquido de dentro do biodigestor.

A carga total no interior do biodigestor ocupou um volume de 180 litros. Como a bombona utilizada é de 250 litros, sobrou um espaço de 70 litros, ocupado apenas pelo ar já presente no interior do biodigestor por ocasião de seu fechamento.

3.3. Operação do Biodigestor

O biodigestor foi deixado em local arejado durante todo o período da experiência. Foram feitas de 3 a 5 leituras por dia no manômetro, para acompanhar a evolução do processo de digestão. A leitura registrada para o projeto foi sempre a das 18:00 horas, todos os dias.

Após o registro da pressão interna do gás a válvula esférica horizontal (vide figura 6) era aberta e o gás produzido era então descarregado até que a pressão interna do biodigestor se igualasse à pressão externa (atmosférica). O intuito deste procedimento foi o de procurar diminuir a concentração de ar que havia sobrado na câmara interna.

Cada vez que o gás era descarregado era feito um teste de chama, para verificar a inflamabilidade do gás eliminado. Este procedimento se repetiu diariamente durante os 90 dias da experiência.

Nesta experiência não foram feitas medidas de pH, nem de temperatura interna do biodigestor e nem de tipos de gás produzido devido à falta de equipamento adequado para tais medidas. É válido lembrar que o objetivo deste trabalho é essencialmente didático, para demonstração, e que a grande maioria das escolas e colégios não dispõe dos equipamentos necessários para tais medidas.

O cálculo do volume de gás produzido foi feito considerando-se o sistema como um gás ideal, permitindo assim o uso da equação dos gases perfeitos de Clapeyron,

$$pV = nRT \quad \text{(eq. 1)}$$

onde p é a pressão, V é o volume, n é o número de mols do gás, R é a constante universal dos gases e T é a temperatura. Da equação 1 temos que

$$\frac{pV}{T} = nR \quad \text{(eq. 2)}$$

O lado direito da equação é uma constante para qualquer estado assumido durante a realização do projeto. Assim, da equação 2, temos que

$$\frac{p_{ext}V_{ext}}{T_{ext}} = \frac{p_{int}V_{int}}{T_{int}} \quad \text{(eq. 3)}$$

onde o índice *ext* está relacionado às variáveis de estado do gás no exterior do biodigestor e o índice *int* está relacionado às variáveis de estado do gás no interior do biodigestor.

Pelo equilíbrio térmico do sistema temos que $T_{ext} = T_{int}$. Temos também que $p_{ext} = p_{atm}$. Assim, da equação 3, temos que

$$p_{ext}V_{ext} = p_{int}V_{int} \quad \text{(eq. 4)}$$

Como o sistema está conectado ao mundo externo pelo manômetro, temos que $p_{int} = p_{atm} + p_{hid}$, onde p_{hid} é a pressão hidrostática exercida pela coluna de água do manômetro sobre o gás no interior do biodigestor. Assim, da equação 4, já resolvendo para V_{ext}, temos

$$V_{ext} = \frac{(p_{atm}+p_{hid})\cdot V_{int}}{p_{atm}} \quad \text{(eq. 5)}$$

Assumindo que $p_{atm} = 10\ mH_2O$ e que $V_{int} = 70$ litros, da equação 5 temos

$$V_{ext} = \frac{(10+p_{hid})\cdot 70}{10} \Longrightarrow V_{ext} = 7\cdot(p_{hid}+10) \quad \text{(eq. 6)}$$

Lembrando que V_{ext} é o volume que seria ocupado pelo gás caso ele estivesse sob pressão de 1 atm ($10\ mH_2O$), temos que a produção efetiva de gás (ΔV) é obtida subtraindo-se deste valor o volume interno do biodigestor, assim:

$$\Delta V = V_{ext} - V_{int} \quad \text{(eq. 7).}$$

Assim, combinando-se a equação 7 com a equação 6, e chamando ΔV de *volume de gás produzido* (V_p), finalmente obtemos a equação que relaciona a leitura da pressão hidrostática no manômetro (P_{hid}) e o volume de gás produzido (V_p) no período de 24 horas:

$$\boxed{V_p = 7\cdot P_{hid}} \quad \text{(eq. 8)}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás deste trabalho foi acompanhada diariamente, e o registro da pressão manométrica foi feito sempre no mesmo horário. A equação 8 foi aplicada a cada registro feito. Desta maneira foi possível obter o volume de gás produzido a cada dia. A tabela com a leitura manométrica, o volume diário de gás produzido e o volume diário total acumulado de gás pode ser encontrada no apêndice B.

A Tabela 4 mostra a produção de biogás por semana e também a produção total acumulada.

Tabela 4 Produção semanal e acumulada de biogás

Semana	Período Considerado	Volume Semanal (L)	Volume Total Acumulado (L)
01	31 de março a 6 de abril	26,5	26,5
02	07 a 13 de abril	13,4	39,9
03	14 a 20 de abril	10,2	50,1
04	21 a 27 de abril	17,2	67,3
05	28 de abril a 4 de maio	61,4	128,7
06	5 a 11 de maio	46,1	174,8
07	12 a 18 de maio	37,1	211,9
08	19 a 25 de maio	18,7	230,6
09	26 de maio a 1 de junho	8,0	238,6
10	2 a 8 de junho	11,3	249,9
11	9 a 15 de junho	5,7	255,6
12	16 a 22 de junho	0,9	256,5
13	23 a 27 de junho	0,0	256,5

O volume de gás produzido na semana 01 foi bem superior ao volume de gás produzido nas semanas 02, 03 e 04. A semana 01 foi bem ensolarada, com dias bem quentes, na faixa da temperatura ideal de trabalho das bactérias

metanogênicas. As semanas 02, 03 e 04 foram semanas de tempo nublado e chuva devido à presença de uma frente fria na região da realização do projeto.

As semanas 05, 06, 07 e 08 apresentaram alta produção de biogás devido ao clima. Novamente céu aberto e bastante calor. No entanto nota-se a diminuição da produção conforme o tempo passa. Estas já são semanas de outono, com clima mais ameno. A partir da semana 09 as noites já estavam bem mais frias, com temperaturas médias em torno de 14ºC, portanto temperaturas críticas para as bactérias metanogênicas. A chegada do inverno está diretamente relacionada à forte diminuição de produção durante este período.

Durante a semana 12 praticamente não houve produção de biogás, e na semana 13 não houve produção alguma. Por isso a experiência foi encerrada nesta semana.

O Gráfico 1 apresenta o volume de produção de biogás em função da semana.

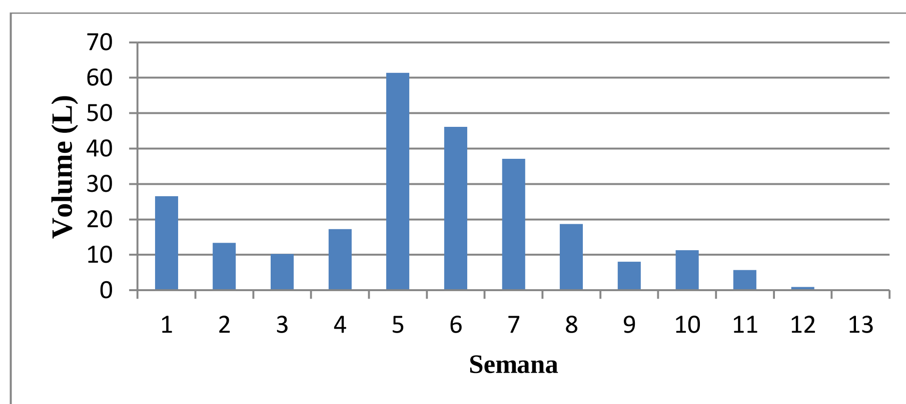


Gráfico 1 Produção de biogás em função da semana.

O Gráfico 2 apresenta o volume total de gás acumulado em função da semana.

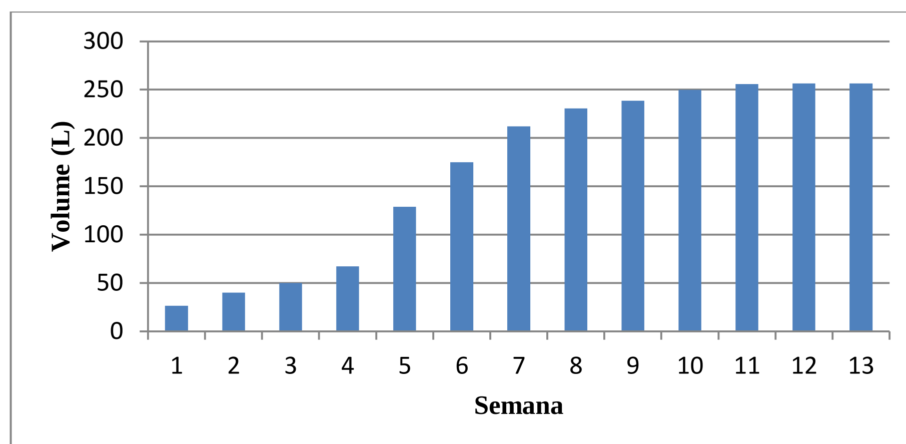


Gráfico 2 Produção acumulada de biogás em função da semana.

A cada descarga diária de biogás produzido foi feito deste de inflamabilidade, para verificar se já estava ocorrendo produção do gás metano, porém todos os testes falharam. Não foi possível obter chama.

Também foi possível observar uma mudança no odor do gás liberado. O gás descartado no início do processo apresentava um forte odor característico de esterco bovino. O gás descartado no final do processo apresentava um odor característico de fermentação, indicando a ação bacteriana no biodigestor.

O mesmo processo ocorreu com o odor do substrato utilizado. O odor no momento da carga do biodigestor era muito forte e era essencialmente devido ao esterco fresco. No momento do dreno para descarte o odor era bem mais suave, lembrando produto de fermentação.

A coloração do resíduo praticamente não apresentou variação. No momento da carga era um verde-oliva intenso, devido ao esterco fresco. No

momento do dreno a coloração estava ligeiramente mais clara, a ponto de se considerar inalterada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil os biodigestores são, em sua grande maioria, utilizados em ambiente rural para lidar com a questão dos dejetos animais. A intenção deste trabalho foi mostrar a viabilidade do uso de um biodigestor em ambiente urbano, onde as necessidades são claramente distintas. Em meios urbanos a população enfrenta problemas como o descarte de resíduos de cozinha de restaurantes, fábricas, grandes centros comerciais e lixo doméstico.

O uso de um biodigestor para um projeto multidisciplinar em uma escola ou colégio contribui, de forma significativa, para a formação de uma consciência crítica a respeito do uso racional de energia, bem como mostra que existem caminhos eficientes para a solução de vários problemas. O biodigestor utiliza o lixo para a produção de energia, evitando assim acúmulos de material orgânico nos aterros sanitários, sem contar o fato de a energia gerada ser renovável e bem menos poluente do que a energia vinda de combustíveis fósseis.

Este projeto mostra também que a construção de um biodigestor pode ser implementada a baixos custos por qualquer escola ou colégio, pois os materiais utilizados são materiais de sucata ou facilmente encontrados nas comunidades. A operação é bem simples. Uma vez que os cuidados com a matéria-prima tenham sido observados (triturar os resíduos vegetais, evitar carne, gorduras e sangue, misturar um pouco de esterco bovino, não utilizar água clorada, etc.), depois de carregado o biodigestor basta aguardar o trabalho das bactérias.

6. CONCLUSÃO

Embora tenha havido a produção de cerca de pouco mais de 256 litros de gás, não foi possível observar gás combustível. Isso não quer dizer que não houve a produção de metano. Como a câmara interna continha 70 litros de ar, todo o biogás produzido ficou diluído neste ar. As descargas diárias contribuíram para redução do ar interno, mas não foram suficientes para purificar a atmosfera interna.

Sugere-se então eliminar totalmente o ar do interior do biodigestor completando-se com água. O gás produzido pode então ser recolhido em outro recipiente. Desta forma ter-se-á apenas o biogás produzido, sem que este esteja diluído em ar.

Outra sugestão para simplificar a construção é de manter apenas um dreno (no caso deste projeto, o inferior). O dreno superior, projetado inicialmente para retirar amostras do líquido no interior do biodigestor, acabou por não ser utilizado.

Pode-se também simplificar a saída de gás eliminando-se a válvula esfera vertical. Assim pode-se utilizar a mesma saída tanto para o manômetro quanto para o queimador/acumulador de gás. Não é recomendado eliminar-se o manômetro a menos que a intensão seja a de não aproveitar o gás formado. Se a pressão se elevar no interior do biodigestor corre-se o risco de a bombona estourar.

Uma sugestão de projeto pode ser de se utilizar o biodigestor para demonstrar a produção de biogás, como ocorreu com este projeto, e também de se criar uma mini horta e aplicar o biofertilizante coletado no final do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIODIGESTION OF KITCHEN WASTE. A comparative evaluation of mesophilic and thermophilic biodigestion for the stabilisation of kitchen waste. Disponível em www.southampton.ac.uk/~sunrise/Biodigestion%20final%20report.pdf. Acesso em: 05/07/2013

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel N. M.; FERRI, Priscila; KOLLING, Evandro M. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Informe Gepec, v. 12, n. 2, Jul./Dez. 2008

POMPERMAYER, Raquel de S.; JÚNIOR, Durval R. de P. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. An. 3.** Enc. Energ. Meio Rural 2003

SOARES, J. **Construção de biodigestores didáticos e estudo da biodigestão de co-produtos do biodiesel.** Disponível em www.enerbio.ind.br/wp-content/uploads/2011/05/Construcao-de-Biodigestores-Didaticos.pdf. Acesso em: 05/07/2013.

TEIXEIRA, V. H. **Biogás.** 1. Ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2005. 93 f.

APÊNCIDE A – Quadro de componentes

Componente	Descrição
	Bombona plástica de 250 litros
	Adaptador com flange 20 mm x 3/4” soldável
	Adaptador com flange 25 mm x ¾” soldável
	Registro de esfera em PVC 20 mm roscado
	Registro de esfera em PVC 20 mm soldável
	Registro de esfera em PVC 25 mm soldável
	Cotovelo soldável em PVC 90º x 20 mm
	Cotovelo soldável em PVC 90º x 25 mm
	Adaptador em PVC 20 mm x 3/4”
	Adaptador em PVC 25 mm x 3/4”

	Adaptador PVC fêmea
	Tê em PVC 20 mm x 3/4” soldável
	Tê em PVC 25 mm x 3/4” soldável
	Tê em PVC 25 mm x ¾” com rosca na bolsa central
	Cruzeta galvanizada ¾” roscada
	União PVC 20 mm soldável
	Niple duplo PVC 25 mm
	Mangueira transparente 1/8”
	Espigão macho 20 mm para mangueira 1/8”
	Cap PVC 25 mm soldável

APÊNDICE B – Tabela de produção diária de biogás

A tabela abaixo apresenta a pressão manométrica (em m H_2O), o volume diário e o volume acumulado (ambos em L) de biogás.

Semana 01	31/03	01/04	02/04	03/04	04/04	05/04	06/04
Pressão	0,7	1,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2
Volume Diário	5,2	8,6	3,5	3,2	2,8	1,6	1,5
Vol. Acumulado	5,2	13,8	17,4	20,6	23,3	25,0	26,5

Semana 02	07/04	08/04	09/04	10/04	11/04	12/04	13/04
Pressão	0,3	0,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,0
Volume Diário	2,3	3,2	3,4	0,9	1,6	2,0	0,0
Vol. Acumulado	28,8	32,0	35,4	36,3	37,9	39,9	39,9

Semana 03	14/04	15/04	16/04	17/04	18/04	19/04	20/04
Pressão	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Volume Diário	0,0	1,1	1,7	1,5	2,0	2,2	1,8
Vol. Acumulado	39,9	41,0	42,6	44,1	46,1	48,3	50,1

Semana 04	21/04	22/04	23/04	24/04	25/04	26/04	27/04
Pressão	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9
Volume Diário	0,0	0,5	1,7	2,1	2,6	4,2	6,2
Vol. Acumulado	50,1	50,6	52,3	54,4	57,0	61,2	67,3

Semana 05	28/04	29/04	30/04	01/05	02/05	03/05	04/05
Pressão	1,1	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5	1,3
Volume Diário	7,8	6,5	8,4	9,8	9,9	10,2	8,8
Vol. Acumulado	75,2	81,7	90,1	99,9	109,8	120,0	128,7

Semana 06	05/05	06/05	07/05	08/05	09/05	10/05	11/05
Pressão	1,1	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0
Volume Diário	7,8	5,3	6,6	5,9	6,7	7,1	6,7
Vol. Acumulado	136,6	141,8	148,4	154,3	161,0	168,1	174,9

Semana 07	12/05	13/05	14/05	15/05	16/05	17/05	18/05
Pressão	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,3	0,3
Volume Diário	6,5	6,9	6,7	7,1	5,7	2,1	2,1
Vol. Acumulado	181,4	188,2	194,9	202,0	207,8	209,9	212,0

Semana 08	19/05	20/05	21/05	22/05	23/05	24/05	25/05
Pressão	0,6	0,8	0,7	0,3	0,1	0,0	0,2
Volume Diário	4,4	5,3	4,9	2,4	0,7	0,0	1,1
Vol. Acumulado	216,4	221,6	226,5	228,9	229,6	229,6	230,7

Semana 09	26/05	27/05	28/05	29/05	30/05	31/05	01/06
Pressão	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4
Volume Diário	2,5	1,1	0,0	0,0	0,0	1,6	2,9
Vol. Acumulado	233,1	234,2	234,2	234,2	234,2	235,8	238,7

Semana 10	02/06	03/06	04/06	05/06	06/06	07/06	08/06
Pressão	0,2	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,1
Volume Diário	1,7	0,2	1,1	2,2	2,8	2,7	0,6
Vol. Acumulado	240,4	240,6	241,6	243,9	246,7	249,3	250,0

Semana 11	09/06	10/06	11/06	12/06	13/06	14/06	15/06
Pressão	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0
Volume Diário	1,1	1,8	0,8	0,8	1,2	0,0	0,0
Vol. Acumulado	251,1	252,9	253,7	254,5	255,6	255,6	255,6

Semana 12	16/06	17/06	18/06	19/06	20/06	21/06	22/06
Pressão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Volume Diário	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,0
Vol. Acumulado	255,6	255,6	255,6	255,8	256,1	256,6	256,6

Semana 13	23/06	24/06	25/06	26/06	27/06
Pressão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Volume Diário	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vol. Acumulado	256,6	256,6	256,6	256,6	256,6